

# Model Simulasi Hidrologi Pada Kawasan Pengembangan Pemukiman Sebagai Upaya Konservasi Air

Haryono Putro

Jurusan Teknik Sipil Universitas Gunadarma, Jakarta Indonesia [haryono\_putro@staff.gunadarma.ac.id]

## Ringkasan

Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat menyebabkan peningkatan pula pemenuhan kebutuhan papan dan perumahan. Upaya pemenuhan kebutuhan tersebut selalu memberikan konsekuensi adanya perubahan alih fungsi lahan (AFL). Perumahan dan permukiman tidak terpisahkan dari ruang yang dimanfaatkan sehingga harus mengacu pada rencana tata ruang wilayah yang dinamis dan responsif terhadap kebutuhan masyarakat agar masyarakat dapat menghuni rumah yang layak dalam lingkungan yang sehat, aman, serasi, produktif, berkelanjutan dan bebas dari ancaman bencana. Masalah-masalah hidrologi pada umumnya merupakan masalah-masalah keruangan. Perubahan lingkungan akan selalu berdampak kepada perubahan pola runoff dan perubahan tata aliran air. Perubahan pola runoff yang mempunyai kecenderungan meningkat yang menyebabkan terjadinya banjir merupakan permasalahan yang kompleks, dinamis dan selalu berkembang dari waktu ke waktu sejalan dengan perkembangan wilayah dengan segala aktivitas manusia di dalamnya. Optimasi Tata Guna Lahan sangat diperlukan untuk memaksimalkan komposisi lahan yang sesuai untuk mengendalikan banjir dan konservasi air. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model hidrologi sebar keruangan diintegrasikan dengan Arc-GIS/Arc-View, Arc-Info dan AutoCAD, sehingga menjadi satu kesatuan sistem dan perangkat lunak yang tidak terpisahkan dan dapat dioperasikan secara interaktif (user friendly). Dengan model ini dapat diketahui luasan lahan arahan dan peruntukannya sehingga dapat dengan mudah dan cepat mengetahui akibat dan pengaruhnya terhadap runoff yang terjadi. Kata Kunci: Alih Fungsi Lahan, Runoff, Optimasi, Arc-GIS

## 1 Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat menyebabkan peningkatan pula pemenuhan kebutuhan papan dan perumahan. Upaya pemenuhan kebutuhan tersebut selalu memberikan konsekuensi adanya perubahan alih fungsi lahan (AFL). Perumahan dan permukiman tidak terpisahkan dari ruang yang dimanfaatkan sehingga harus mengacu pada rencana tata ruang wilayah yang dinamis dan responsif terhadap kebutuhan masyarakat.

Pembangunan akibat pertumbuhan penduduk yang tidak diikuti dengan upaya pelestarian air jelas akan menimbulkan permasalahan keairan, pembangunan di daerah cekungan atau depresi, situ-situ, dan daerah rawa sudah banyak yang hilang karena ditimbun dan dibangun perumahan perkantoran dan gedung-gedung. Sedimentasi dari erosi sebagai dampak dari pembangunan mengakibatkan sungai menjadi dangkal sehingga semakin mudah terjadi overtopping aliran sungai mengenai daerah sekitar. Banyak situ-situ dan cekungan-cekungan yang hilang akibat sedimentasi ini. Kemampuan lahan untuk menampung, menahan dan

menyimpan air ke dalam tanah sudah semakin menurun sehingga proses infiltrasi dan perkolasi air di dalam tanah menjadi tidak efektif dan semakin berkurang. Berkurangnya luas penyebaran tanaman/vegetasi (vegetal cover) juga akan mengakibatkan berkurangnya evaporasi dan pada saat hujan akan mengurangi intersepsi air hujan.

Sampai saat ini banjir merupakan salah satu bencana yang menimbulkan kerugian yang sangat besar baik jiwa, harta, maupun bangunan-bangunan yang ada. Perubahan karakteristik lahan dan curah hujan yang cukup tinggi serta kondisi DPS yang tidak mendukung merupakan faktor yang ikut berperan dalam munculnya gejala banjir. Fenomena alam ini memang sulit dihilangkan dan akan terus meningkat bila tidak dilakukan antisipasi terhadap dampak yang ditimbulkan dan upaya-upaya pencegahannya.

Perluasan kawasan perkotaan dan berkurangnya kawasan hutan yang cepat sedang banyak terjadi di beberapa tempat di Indonesia. Penyusutan penutupan vegetasi menciptakan ketidak-seimbangan hidrologi dan berpengaruh negatif pada beberapa DAS (Daerah Aliran Sungai). Perubahan penutupan vegetasi mempengaruhi kapasitas infiltrasi tanah dan waktu serta volume aliran. Peningkatan volu-

me limpasan dan perubahan waktu aliran ini mengakibatkan masalah banjir di daerah hilir DAS.

Pengelolaan kawasan baru terbangun ini menjadi sebuah kunci dalam upaya konservasi Sumber Daya Air. Kegiatan pengelolaan lahan dimaksudkan untuk menghemat dan menyimpan air serta konservasi tanah. Pengelolaan kawasan yang lebih menyeluruh membentuk suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat mengurangi debit air di daerah hilir, mengurangi erosi tanah, dan mengurangi muatan sedimen di sungai. Misalnya, pemeliharaan dan penanaman tumbuh-tumbuhan di hulu DAS. Peran Masyarakat dan para pengembang di bidang perumahan dan pemukiman sangat diharapkan perannya dalam pengelolaan DAS ini, namun sampai sekarang belum sepenuhnya mengindahkan akibat/dampak yang akan terjadi dari perubahan tata gunalahan tersebut terhadap sistem air yang ada.

## 1.2 Tujuan Khusus dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini adalah melakukan simulasi penggunaan lahan atau tata guna lahan (land use) pada wilayah pengembangan kawasan pemukiman dengan berbagai data yang dapat disesuaikan pada wilayah tertentu tersebut sehingga diharapkan dapat menghasilkan suatu tata ruang arahan optimal yang mampu mempertahankan runoff-nya tetap (zero delta Q) bahkan sampai menghasilkan zero runoff. Data simulasi ini juga mencakup perkiraan besar curah hujan dan arah perjalanan hujan, waktu lama hujan, data mengenai alternatif vegetasi penutup tanah dengan berbagai nilai yang berpengaruh, data jenis tanah, lama penyinaran sinar matahari, kecepatan angin yang bergerak, infiltrasi sumur resapan vertikal maupun horisontal dan lain sebagainya yang memberi pengaruh terhadap proses hidrologi.

Dengan melakukan simulasi terhadap perubahan tata guna lahan yang akan dibangun sebelum perubahan tata guna lahan atau pembangunan itu berlangsung akan diketahui sejak dini pengaruh-pengaruhnya terhadap runoff yang terjadi, sehingga dapat memberikan rekomendasi perencanaan pembangunan sebagai upaya menjaga kelestarian lingkungan sebagai upaya pengelolaan air tanah, sehingga lebih jauh lagi kegiatan ini memberikan inventarisasi, pengaturan, perizinan, pengendalian serta pengawasan dalam rangka konservasi air tanah bagi pihak yang terkait, terutama pihak Pemerintah sebagai pemberi perijinan dan sebagai kontrol sosial dalam rangka pembelajaran dan sosialisasi kepada masyarakat dan swasta.

Pemodelan hidrologi sebagai upaya merumuskan tataguna lahan anjuran (propose landuse) mengandung prinsip pengelolaan lahan dengan memadukan kepentingan produktifitas dan konservasi sesuai

dengan fungsi dan struktur lahan. Tataguna lahan anjuran yang sederhana adalah memuat beberapa tipe luasan yang harus dipertahankan atau diperbaiki untuk mendapatkan hasil air yang diharapkan. Semakin detail data dan informasi yang dapat masuk ke dalam model, maka tataguna lahan anjuran dapat memuat prinsip konservasi yang lebih rinci. Perkembangan model-model hidrologi yang seiring dengan kemajuan ilmu dan teknologi telah mencapai integrasi teknologi yang makin mengembangkan kebutuhan model untuk berbagai penggunaan yang lebih luas. Dalam penelitian ini diharapkan akan menambah daftar model-model yang sudah ada dengan mengembangkan beberapa faktor sehingga dapat dengan mudah (friendly user), praktis, dan mudah diterapkan baik untuk kalangan akademisi, praktisi, pemerintah maupun masyarakat.

## 1.3 Keutamaan Penelitian

Penduduk perkotaan saat ini sudah mencapai lebih dari 50% penduduk Indonesia. Tahun 2008 merupakan tahun bersejarah karena jumlah penduduk kota melampaui jumlah penduduk desa, kenyataan ini akan menambah beban kota-kota di masa yang akan datang. Dilihat dari sebaran penduduk perkotaan saat ini dan proyeksi pada waktu mendatang, konsentrasi penduduk kota terjadi di pulau Jawa, proyeksi Tahun 2010 jumlah penduduk Pulau Jawa sekitar 57,6% dan perkiraan di Tahun 2025 mencapai 60% dimana luas pulau Jawa hanya kurang dari 7% (6,9%) dari lahan seluruh luas wilayah Indonesia. Pengelompokan ini terutama terjadi di Jabodetabek (20% dari total penduduk perkotaan Indonesia). Hal ini menunjukkan adanya konsentrasi berlebihan dan tidak meratanya penyebaran penduduk. Selain itu juga, terutama di kota-kota metropolitan, telah terjadi perkembangan fisik yang telah mengintegrasikan kota-kota yang lebih kecil di sekitar kota intinya. Peningkatan jumlah penduduk kota tentunya akan memberikan berbagai implikasi bagi pembangunan perkotaan.

Penyelenggaraan penataan ruang wilayah dan kota (kawasan perkotaan sebagai pusat permukiman) bukan hanya menjadi tanggung jawab Pemerintah semata, karena pada hakekatnya Pemerintah bekerja bukan untuk dirinya sendiri melainkan untuk memberikan pelayanan terbaik pada masyarakat berdasarkan kebutuhan dan aspirasi yang berkembang. Untuk itu dibutuhkan kerjasama antara Pemerintah dan berbagai unsur stakeholder dimana masyarakat sebagai subyek pembangunan dalam suatu proses menuju penguatan peran masyarakat (*community driven planning*).

Dengan mempertimbangkan pentingnya penataan ruang dalam proses pembangunan khususnya perumahan dan permukiman maka perlu segera di-

lakukan kampanye penyadaran masyarakat (*public awareness campaign*) secara terarah, terkoordinasi dan terus menerus (*continuous effort*). Dengan peran masyarakat yang semakin kuat, aktif dan konstruktif maka penyelenggaraan pembangunan secara umum dapat dilakukan secara lebih transparan dan akuntabel sebagai wujud nyata dari pelaksanaan prinsip *good governance*.

Sumber-sumber air, konservasi daerah aliran sungai, pengendalian banjir dan kekeringan, infrastruktur keairan, pola dan rencana pengelolaan sumber daya air terpadu, kebijakan pemerintah daerah yang berkaitan dengan otonomi daerah, sampai pemodelan manajemen sumberdaya air menjadi suatu yang senantiasa di kaji untuk dapat dijaga kelestariannya sehingga keberadaannya dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin dalam menghadapi perubahan tata guna lahan yang terus terjadi. Sehingga suatu model (*software*) dan metode optimasi pengelolaan lahan merupakan idaman banyak pihak yang berkepentingan dengan sumber daya lahan.

Sebagai konsekuensi semakin pentingnya peranan air tanah sebagai sumber pasokan air baku untuk berbagai keperluan, maka diperlukan perangkat kebijakan yang menaungi pengelolaan air tanah. Di Indonesia muncul kebijakan yang mengatur air tanah yakni UU No.7 Tahun 2004 yang merupakan pengganti UU No.11 Tahun 1974. Di dalam UU No.7 Tahun 2004 ini terdapat adanya bab yang mengatur tentang Konservasi Sumber Daya Air, dimana pasal-pasal yang ada menyangkut konservasi, perlindungan dan pelestarian air, pengawetan air, pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air dan pelaksanaan konservasi. Di dalam Undang-undang yang baru ini peran konservasi Sumber Daya Air ini bukan saja menjadi tanggung jawab Pemerintah namun juga menjadi tanggung jawab masyarakat, bahkan swasta dapat menjadi bagian dalam upaya konservasi.

Departemen Pekerjaan Umum juga sudah mengeluarkan kebijakan yang dikenal dengan sebutan *zero delta Q policy*. Jika lahan pada suatu kawasan dikembangkan atau diubah fungsi, debit air limpasan sebelum dan sesudah lahan berubah harus tetap sama. Konsep ini dapat dilakukan dengan cara kompensasi pada lahan permukiman harus disisakan lahan untuk penahan *run-off* (aliran permukaan). Misalnya, membuat sumur resapan, embung, dan penanaman rumput.

sumur resapan, embung, dan penanaman rumput. Pengelolaam kawasan baru terbangun ini menjadi sebuah kunci dalam upaya konservasi Sumber Daya Air. Kegiatan pengelolaan lahan dimaksudkan untuk menghemat dan menyimpan air serta konservasi tanah. Pengelolaan kawasan yang lebih menyeluruh membentuk suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat mengurangi debit air di daerah hilir,

mengurangi erosi tanah, dan mengurangi muatan sedimen di sungai. Misalnya, pemeliharaan dan penanaman tumbuh-tumbuhan di hulu DAS. Peran Masyarakat dan para pengembang dibidang perumahan dan pemukiman sangat di harapkan perannya dalam pengelolaan DAS ini, namun sampai sekarang belum sepenuhnya mengindahkan akibat/dampak yang akan terjadi dari perubahan tata gunalahan tersebut terhadap sistem air yang ada.

Peran pengembang perumahan dan kesadaran masyarakat sangat diharapkan dalam keikutsertaan membantu upaya bersama dalam penanggulangan banjir, sehingga akan lebih optimal.

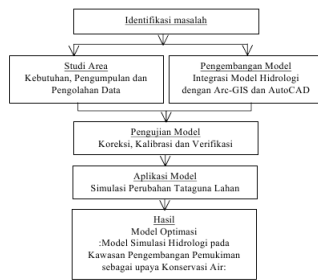
Optimasi Tata Guna Lahan sangat diperlukan untuk memaksimalkan komposisi lahan yang sesuai untuk mengendalikan banjir dan konservasi air. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model hidrologi sebar keruangan diintegrasikan dengan CAD/ AutoCAD, sehingga menjadi satu kesatuan sistem dan perangkat lunak yang tidak terpisahkan dan dapat dioperasikan secara interaktif (*user friendly*). Dengan model ini dapat diketahui luasan lahan arahan dan peruntukannya sehingga dapat dengan mudah dan cepat mengetahui akibat dan pengaruhnya terhadap runoff yang terjadi.

## 2 Metode Penelitian

Kelestarian sumber daya alam berkaitan dengan pemahaman terhadap tata air dan tata guna lahan dalam suatu catchment area atau DAS. Berbagai unsur sumber daya alam di dalam DAS seperti luasan, bentang dan topografi lahan, air, tanah, vegetasi, iklim, yang saling berinteraksi dan terhubung oleh siklus hidrologi sehingga terbentuk tata air DAS. Menjaga kelestarian DAS berarti memperlakukan sumber daya alam (komponen) DAS sedemikian rupa untuk menghasilkan tata air yang seimbang dan yang sesuai dengan kepentingan/ kebutuhan manusia. Oleh karena itu indikator hidrologi merupakan kunci yang signifikan dan mudah terbaca terhadap terjadinya gangguan ekologi/ degradasi DAS atau sebaliknya dapat menunjukkan adanya peningkatan kualitas/ perbaikan lingkungan DAS.

Interaksi berbagai sumberdaya alam DAS yang membentuk sistem biofisik ditambah dengan manusia sebagai pelaku pendayagunaan sumberdaya alam tersebut yang membentuk sistem manusia, menjadikan DAS sebagai megasistem yang terdiri dari banyak sub sistem yang sangat rumit dan kompleks. Di bihak lain pengenalan atau analisis sistem terhadap megasistem DAS sangat diperlukan dalam pekerjaan pengelolaannya, karena dapat mengetahui akibat- akibat yang timbul dari adanya perubahan (perlakuan) dan dapat memutuskan untuk mengoptimumkan, memaksimumkan atau meminimumkan fungsi perlakuan melalau simulsi berban-

tukan perangkat komputer.



Gambar 1: Bagan Alir Metode Penelitian

## 2.1 Perkembangan Model Hidrologi

Didalam pekerjaan analisis sistem seperti DAS sangat rumit digunakan alat bantu berupa model yang menyederhanakan sistem dengan mempertimbangkan aspek-aspek yang terkait dalam masalah tersebut dan mengabaikan aspek-aspek yang dapat menimbulkan komplikasi yang tidak relevan. Suatu penyederhanaan yang memberikan kemudahan dalam pemahaman dan pengendalian serta merupakan suatu versi tiruan dari dunia nyata.

Penggunaan model sendiri mempunyai keterbatasan yang harus dipahami, bahwa model banyak membutuhkan data, terdapat asumsi kritis yang tersembunyi yang dapat menghasilkan prediksi tidak tepat, serta tidak seluruh proses alami dapat diwakili dan tidak mudah untuk diwujudkan dalam bentuk persamaan-persamaan.

Dalam kegiatan analisis hidrologi untuk berbagai kepentingan dalam pengembangan sumber daya air. Dalam banyak hal dan kasus diperlukan parameter dan variabel hidrologik yang merupakan komponen sebuah model.

Dalam pengertian umum, model hidrologi adalah sebuah sajian sederhana (*simple representation*) dari sebuah sistem hidrologi yang kompleks. Sistem, sebagai suatu struktur, alat, skema, atau prosedur, baik riil maupun abstrak, yang dikaitkan dalam satu referensi waktu tertentu sebuah masukan atau sebab, tenaga atau informasi dengan keluaran, pengaruh atau tanggapan secara menyeluruh.[3]

Model-model hidrologi menggambarkan interaksi antar variable-variabel di dalam konteks DAS. Model-model tersebut dapat dibangun dari model yang sederhana hingga kompleks sesuai dengan tujuan penggunaan model, akurasi, kemudahan atau efisiensinya.

Siklus hidrologi dapat dipelajari sebagai suatu sistem yang terdiri atas : hujan (*presipitasi*), evaporasi, limpasan air permukaan (*runoff*), infiltrasi, serta fase-fase lain dari sistem hidrologi. Komponen-komponen tersebut dapat dikelompokkan ke dalam subsistem-subsistem yang dapat di-

palajari secara terpisah untuk selanjutnya digabung sesuai dengan interaksi diantara subsistem-subsistem tersebut. [1]

Kesetimbangan air ialah proses keluar masuk dan storage air dalam suatu ruang tinjau, dengan menggunakan hukum kekekalan masa maka kalau dijumlahkan akan sama dengan nol. Teori kesetimbangan air ii menghitung ketersediaan air di permukaan sehingga beberapa unsur dapat di upayakan besaran jumlahnya.

$$P - Et = In + Bf + ST + P + R_o \quad (1)$$

P (presipitasi, hujan)-Et merupakan masukan suatu kesetimbangan, dimana merupakan curah hujan dikurangi evaporation potensial, Bf (base-flow), Ro(runoff), Penambahan atau pengurangan Storage ( ST) biasa didalam tanah (STSM) atau dipermukaan tanah (genangan) (G). Storage dibawah permukaan tanah akan terjadi apabila ada kemungkinan tempat air untuk berdiam (rawa, danau, waduk, pond). Dengan melakukan simulasi terhadap faktor keseimbangan air ini, maka keberadaan jumlah air yang melimpas (runoff) dapat dimodifikasi.

Reduksi limpasan dapat berupa:

1. Sumur resapan (vertikal dan horisontal)
2. Vegetasi penutup lahan
3. Embung, reservoir Optimasi fungsi reduksi limpasan ini akan menghasilkan nilai investasi ekonomi dan benefit.

## 2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan komputer dan bahasa pemrograman simulasi sebagai alat utama. Alat bantu lain yang dibutuhkan adalah perangkat lunak VB (visual basic) dengan Map object dan perangkat lunak program Auto-CAD, ArcGIS/ Arc-View dan Arc-Info. Komputer dan bahasa pemrograman simulasi akan digunakan pada pembuatan model simulasi sistem penanganan banjir.

Aliran air di atas permukaan tanah dianggap sebagai aliran tunak seragam (mengabaikan adanya backwater) yang dinyatakan dengan persamaan kontinuitas dan momentum. Persamaan diferensial parsial ini dapat diselesaikan dengan metode penyelesaian beda hingga kinematik linear [1].

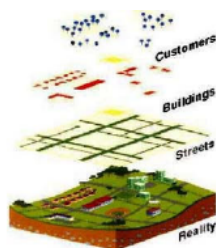
Phenomena Daerah Aliran Sungai atau sub DAS yang mempunyai permukaan topografik dibagi dalam sel-sel grid sehingga dalam keseluruhan DAS terdiri dari sejumlah sel-sel grid dimana masing-masing selnya memuat peubah-peubah hidrologi yang mempunyai nilai yang sama dalam satu sel. Demikian juga dalam suatu sub DAS yang diwakili oleh suatu kawasan pemukiman. Oleh karena

itu satu sel grid dapat dianggap sebagai satuan respon hidrologi (Hydrologic Response Unit). Peubah-peubah hidrologi yang dimaksud meliputi Koefisien Manning yang dipengaruhi oleh penutup permukaan tanah, koefisien abstraksi yang dipengaruhi oleh karakteristik tanah dan penutup lahan, dan kemiringan dan aspek yang merupakan faktor morfologi dari rupa bumi.

Data masukan dibedakan dalam peubah statik dan peubah dinamik. Nilai kedua peubah ini dapat dirubah untuk mensimulasikan besarnya air permukaan spasial. Faktor 'physiographic', yaitu kemiringan, abstraksi, laju infiltrasi dan koefisien kekasaran permukaan didapatkan dari hasil analisis spasial dari lapis-lapis data topografi, karakteristik tanah, penggunaan lahan dan penutupan tanaman sebagai peubah statik. Sedangkan hujan merupakan peubah dinamik yang nilainya dapat berubah dalam selang waktu jam-jaman, harian atau mingguan. Penyediaan peubah dinamik ini dan didukung proses hitungan yang cepat memungkinkan model dioperasikan dalam rangka waktu nyata (*real time*), sehingga pengoperasian pengendalian banjir dan perlakuan yang berhubungan dengan sumber daya air yang lain seperti misalnya pemompaan air di hulu sungai dapat diterapkan secara real time untuk keperluan manajemen dan pengoperasian sumber daya air permukaan.

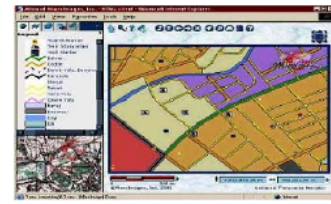
### 2.3 Prosedur Penelitian

Topografi berperan penting dalam respon hidrologi suatu luasan area. Agar mencapai suatu prediksi hidrologi yang signifikan pada suatu skala luasan bidang/area, variabilitas (ketaktetapan) keruangan dari proses-proses hidrologi harus dihitung (Moore et. al., 1993). Ke-otomatisan analisis terrain melalui penggunaan DEM telah memungkinkan memunculkan informasi tentang morfologi permukaan tanah. Algoritma untuk mengekstrak struktur topografi dari elevasi digital telah dikembangkan dan diimplementasikan dalam berbagai sistem pemrosesan raster. Algoritma itu terutama digunakan untuk menghitung kemiringan dan aspek, dan arah aliran [2].



Gambar 2: Representasi SIG

Kebanyakan atribut topografi dihitung dari turunan arah dari permukaan topografik. Turunan-

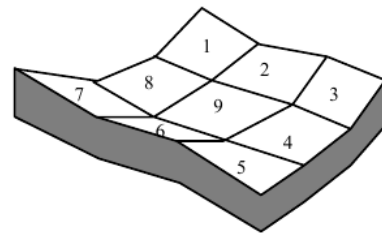


Gambar 3: Contoh Aplikasi SIG



Gambar 4: Foto udara Google Earth

turunan ini dihitung menggunakan pola beda hingga orde kedua dari sel-grid elevasi. Penyajian sel-grid permukaan topografik dengan pola penomornya ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5: Penyajian DEM dan konvensi penomoran grid

Dalam term yang spesifik, penurunan dapat dinyatakan sebagai (Moore, et. al., 1993) :

$$f_x = \frac{\partial z}{\partial x} \quad \text{dan} \quad f_y = \frac{\partial z}{\partial y} \quad (2)$$

$$p = f_x^2 + f_y^2 \quad \text{dan} \quad q = p - 1 \quad (3)$$

Gradien kemiringan ( $\beta$ ) dapat dihitung sebagai :

$$\beta = p^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

atau menggunakan data elevasi, kemiringan itu dapat dihitung sebagai :

$$\beta = \arctan \left\{ \max_{i=1.8} \left| \frac{Z_9 - Z_i}{\lambda} \right| \right\} \quad (5)$$

dimana :

z = elevasi

i = penomoran grid

Q(i) = 1 untuk arah USTB (Utara, Selatan, Timur dan Barat), dan  $\frac{1}{2}$  untuk arah TL, TG, BD dan BL

(Timur Laut, Tenggara, Barat Daya dan Barat Laut)  
= ukuran sel-grid.

= ukuran sel-grid.

Aspek dapat dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$\Psi = 180 - \arctan \left[ \frac{f_y}{f_x} \right] + \left[ \frac{f_x}{[f_x]} \right] \quad (6)$$

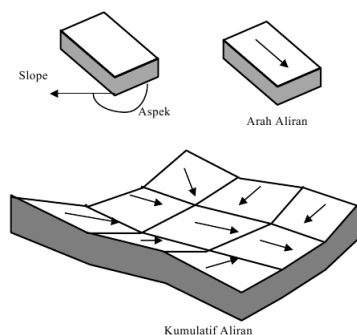
Berdasarkan kemiringan dan aspek, arah aliran (AALIR) dapat ditentukan dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$AALIR = 2j - 1 \text{ dimana : } j = 1 \text{ untuk } \left\{ \begin{matrix} \max \\ i = 8 \end{matrix} Q(i) \left| \frac{z_9 - z_i}{\lambda} \right| \right\} \quad (7)$$

dimana j adalah delapan arah utama seperti ditunjukkan dalam matrik berikut

$$\begin{bmatrix} 64 & 128 & 1 \\ 32 & x & 2 \\ 16 & 8 & 4 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Parameter berikutnya yang penting diturunkan untuk pemodelan hidrologi/aliran adalah akumulasi aliran dimana besarnya akumulasi aliran sama dengan penjumlahan besarnya aliran sel-sel disekitarnya menuju padanya. Secara skematik, proses-proses perhitungan parameter topografik ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6: Penurunan kemiringan, aspek, arah aliran dan akumulasi aliran

## Pustaka

- [1] Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays L. W., 1988. Applied Hydrology. Mc Graw-Hill Book Company, International Edition, Singapore, xiii+572p.
- [2] Duane D. Baumann, John J. Boland, W., and Michael Hanemann, 1998. Urban Demand management and Planning. McGraw-Hill, Inc., USA.
- [3] Handayani, W. 2002. Model Karakteristik Hidrologi dan Simulasi Pola Penggunaan lahan

pada Sub DAS Karang Mumus Samarinda, Kalimantan Timur. Tesis Magister. Program Pascasarjana Universitas Mulawarwan, Samarinda, Kalimantan Timur.

- [4] Moore, I.D., A.K. Turner, J.P. Wilson, S.K. Jenson, and L.E. Band. 1993. GIS and land surface-subsurface process modeling. Dalam environmental Modeling with GIS. Oxford University Press, New York, pp196-230.
- [5] Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 1 Tahun 2008 Tentang Pedoman Perencanaan Kawasan Perkotaan. Jakarta.
- [6] Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 1 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang Terbuka Hijau Kawasan Perkotaan .Jakarta.
- [7] Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.70/Menhut-II/2008/Tentang Pedoman Teknis Rehabilitasi Hutan dan Lahan, Jakarta
- [8] Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.32/MENHUT-II/2009 Tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS). Jakarta.
- [9] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 494/PRT/M/2005 Tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Perkotaan (KSNP Kota). Jakarta.
- [10] Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2009 Tentang Pengelolaan Kawasan Perkotaan. Jakarta. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor: 26 Tahun 2008 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional. Jakarta.
- [11] PPSL, Unmul, 1997. Panduan Pelatihan Untuk Pelatih Pengelolaan Terpadu DAS. Jilid 1. Pengembangan Pusat Studi Lingkungan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- [12] Undang-Undang No. 41 Tahun 1999 Tentang Kehutanan.
- [13] Undang-Undang No.26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang.
- [14] Undang-Undang No.7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.